وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش

available online @ www.jcst.icrc.ac.ir
نشریه علمی- پژوهشی علوم و فناوری رنگ/ ۱۰ (۱۳۹۵)، ۲۶۶-۲۵۹

نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ
Journal of Color Science and Technology
www.jcst.icrc.ac.ir

بهینه‌سازی شرایط رنگرزی الیاف پشمی با گلبرگ زعفران جهت کسب شید آبی

حسین بارانی[1*]، زهرا جمشیددوست ملکوتی[2]، سعیده رفیعی[3]

۱- دانشیار، گروه فرش، دانشکده هنر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، خراسان جنوبی، صندوق پستی: ۴۵۴-۹۷۱۷۵
۲- دانشجوی کارشناسی، گروه فرش، دانشکده هنر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، خراسان جنوبی، صندوق پستی: ۴۵۴-۹۷۱۷۵
۳- دانشجوی دکتری، گروه نساجی، دانشکده مهندسی، دانشگاه گیلان، رشت، گیلان، صندوق پستی: ۳۷۵۶-۴۱۶۳۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۰ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۵/۱۰/۳۰

چکیده

در این پژوهش، گلبرگ زعفران به عنوان یک ماده رنگزای طبیعی جهت کسب شید آبی روی نخ پشمی معرفی و با توجه به این هدف، فرآیند رنگرزی بهینه‌سازی شده‌است. ماده رنگزای موجود در گلبرگ زعفران مربوط به ماده‌ای به نام آنتوسیانین می‌باشد که می‌توان آن را به عنوان یک ماده رنگزای طبیعی استفاده نمود. از نرم‌افزار طراحی آزمایش به منظور بهینه‌سازی عوامل موثر از قبیل غلظت کلرید قلع به عنوان دندانه (۰تا ۳٪)، غلظت گلبرگ زعفران (۵۰تا ۲۰۰٪)، مدت زمان رنگرزی (۳۰ تا ۸۰ دقیقه) و دمای نهایی فرآیند رنگرزی (۵۰ تا ۹۵ درجه سانتی‌گراد) در رنگرزی کلاف نخ پشمی جهت کسب شید آبی استفاده شد و سپس ویژگی‌های ظاهر رنگی، ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های رنگرزی شده در شرایط مختلف رنگرزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آماری مربوط به برازش مدل درجه دوم چند جمله‌ای بر نتایج تجربی نشان داد که متغییرهای غلظت دندانه کلرید قلع ($p<۰,۰۰۰۱$) و دمای رنگرزی ($p<۰,۰۰۰۱$) تأثیر معناداری در کسب شید آبی روی کالای پشمی رنگرزی شده با گلبرگ زعفران دارند. محدوده زاویه رنگ نمونه‌های رنگرزی شده بین ۷۵ تا ۲۳۵ درجه می‌باشد که نشان‌دهنده کسب شیدهای زرد تا آبی می‌باشد. ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های رنگرزی شده نسبتا متوسط تا خوب می‌باشد و نمونه رنگرزی شده کمترین مقدار لکه‌گذاری را نمونه کالای پشمی و پنبه‌ای داشته‌است.

واژه‌های کلیدی: رنگرزی طبیعی، گلبرگ زعفران، آنتوسیانین، شید آبی، بهینه‌سازی.

Optimization of Wool Fibers Dyeing with Saffron Petal to Produce Blue Shade

H. Barani[1], Z. Jamshid Doost Malakouti[1], S. Rafiei[2]
[1.] Department of Carpet, University of Birjand, Birjand, Iran, P.O. Box: 97175-454
[2.] Department of Textile Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran, P.O. Box 41635-3756
Received: 18-12-2015 Accepted: 31-08-2016 Available online: 19-01-2017

Abstract

This research is based on to optimize the application of saffron's petal as a natural dye in wool yarn dyeing process to produce blue shade. Saffron's petal colorant substance is Anthocyanin, which can be used as natural dyes. Experimental design software was applied to optimize the effective dyeing parameters of wool dyeing such as tin chloride concentration as a mordant (0% to 3%), saffron petals concentration (50% to 200%), dyeing time (30 to 80 minutes) and the final temperature dyeing process (50 to 95 ° C) to get blue shade. In order to this, the color appearance, light and washing fastness of dyed samples was studied at different conditions dyeing. Statistical results of the quadratic polynomial model based on experimental results showed that tin chloride concentration ($p<0.0001$) and temperature dyeing ($p<0.0001$) have a significant effect on the blue shade of dyed wool samples with saffron petals. The dyed samples possess a hue angle from 75 to 235 degree, which is indicating of yellow to blue shades. Moreover, they presented a moderate up to good washing and light fastness and had a lowest staining effect on the cotton and wool fabric. J. Color Sci. Tech. 10(2017), 259-266©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Natural dye, Saffron's petal, Anthocyanin, Blue shade, Optimization.

***Corresponding author: barani@birjand.ac.ir**

۱ـ مقدمه

مواد رنگزای طبیعی گروه بسیار مهم و گسترده‌ای از مواد رنگزا می‌باشند که قابلیت رنگرزی الیاف طبیعی و مصنوعی را به منظور ایجاد شیدهای مختلف رنگی را دارند. هم‌اکنون شواهد فراوانی وجود دارد که با وجود ثبات بالای مواد رنگزای مصنوعی، تمایل زیادی برای استفاده از مواد رنگزای طبیعی وجود دارد. تمایل مصرف‌کنندگان امروزی به استفاده از مواد رنگزای طبیعی را می‌توان به دلیل توجه به مسائل زیست‌محیطی و خطرات ناشی از فرآیند تولید مواد رنگزای مصنوعی و پساب حاصل از آن در محیط‌زیست، خطرات احتمالی ناشی از مصرف کالاهای رنگرزی شده با مواد رنگزای مصنوعی بر سلامت انسان و امکان پایان یافتن منابع مواد اولیه برای تولید مواد رنگزای مصنوعی و لزوم یافتن مواد جایگزین دانست [۳-۱]. مواد رنگزای طبیعی شامل ترکیباتی هستند که منشاء گیاهی داشته و از ریشه و گل و برگ و میوه و پوست تنه نباتات به دست می‌آیند [۴] و یا مواد رنگزای حیوانی که موجوداتی مانند حشره قرمزدانه و صدف ارغوان مولد آنها هستند و یا مانند خاک سرخ از معادن استخراج می‌شوند. ایرانیان برای رنگرزی پشم و ابریشم از دیرباز از گیاهان رنگی نظیر انار، گردو، روناس، اسپرک و همچنین از حشره قرمزدانه استفاده کرده‌اند [۵، ۶].

زعفران، گیاهی زیبا و معطر از تیره زنبقیان و از جنس کروکوس و گونه ساتیوا (*Crocus sativus*) است [۷]. این گیاه دارای برگ‌های بلند، باریک، بدون دُم برگ با رنگ سبز تیره و گل‌های زرد خوش بو شبیه گل لاله عباسی است. از وسط برگ‌ها، ساقه گل‌دار خارج شده که به یک تا سه گل منتهی می‌شود. گل‌ها بسیار زیبا و دارای شش گلبرگ بنفش رنگ هستند که ممکن است در بعضی واریته‌ها به رنگ گلی یا ارغوانی باشند تارهای نازک قرمز رنگی در میان گل‌های آن قرار گرفته است (شکل ۱- الف) که زعفران معروف، همین رشته‌های نازک می‌باشند. زعفران بیشتر برای رنگ‌کردن و خوش‌بو کردن در صنایع، طب و نقاشی به کار می‌رود و رنگ آن زرد خوش رنگ، ثابت و مقاوم است اما، کاربرد چندانی در رنگرزی الیاف به دلیل قیمت زیاد ندارد. زعفران به عنوان رنگ در قالی‌بافی مورد استفاده قرار می‌گرفته [۵] و به خصوص در رنگرزی الیاف ابریشمی و قالیچه‌های قدیمی به کار گرفته شده است. مصرف این ماده رنگزا در گذشته بسیار زیاد بوده و امروزه به علت گرانی فوق العاده و نیز تقلب های موجود در آن، بسیار محدود و نادر شده‌است [۸]. از طرفی گلبرگ زعفران کمتر به عنوان یک ماده رنگزای طبیعی معرفی شده و بیشتر به عنوان یک دور ریز گیاهی شناخته شده است. ماده رنگزای گلبرگ زعفران مربوط به ماده‌ای به نام آنتوسیانین (شکل ۱- ب) می‌باشد که با استخراج آن از گلبرگ زعفران می‌توان به‌عنوان ماده رنگزای طبیعی استفاده نمود [۹]. ماده رنگزای استخراج شده از گلبرگ و پرچم زعفران به‌عنوان ماده رنگزای طبیعی روی الیاف پشمی در حضور دندانه‌های مختلف جهت کسب شیدهای زرد و قهوه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌است [۱۰، ۱۱] و گزارش شده است که نمونه‌های رنگرزی شده دارای ثبات شستشویی و نوری مطلوبی می‌باشند. دندانه کلرید قلع و زاج سفید بهترین ثبات رنگی را داشته و در حضور کلرید قلع شید آبی ایجاد کرده‌است [۱۲]. در تحقیقات گزارش شده [۱۲-۱۰]، حساسیت دمای ماده رنگزای موجود در گلبرگ زعفران مورد توجه قرار نگرفته و بیشتر هدف معرفی گیاه بعنوان یک ماده رنگزای طبیعی و کسب شیدهای متنوع مورد ارزیابی قرار گرفته است. بنابراین در این تحقیق از گلبرگ زعفران به عنوان یک ماده رنگزای طبیعی در حضور دندانه کلرید قلع به منظور کسب شید آبی روی کالای پشمی استفاده شده است و با استفاده از نرم افزار طراحی آزمایش عوامل موثر در کسب شید آبی بهینه‌سازی شده‌است. ویژگی‌های ظاهر رنگی، همچنین ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های رنگرزی شده در شرایط مختلف رنگرزی مورد بررسی قرار گرفت.

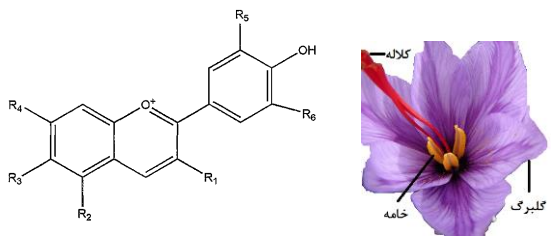
۲ـ بخش تجربی

۲ـ۱ـ مواد

در این تحقیق از نخ پشمی با نمره ۲۰۰ تکس دولا استفاده شده‌است و همچنین مواد شیمیایی مورد استفاده عبارتند از: تریتون X100، اسید استیک و کلرید قلع که از شرکت مرک آلمان خریداری شدند گلبرگ زعفران از روستای چهکندوک در ۵ کیلومتری جنوب شرقی سربیشه واقع در استان خراسان جنوبی جمع‌آوری و از گلبرگ خشک شده در حمام رنگرزی استفاده شد.

۲ـ۲ـ شناسایی عوامل موثر در میزان جذب ماده رنگزا

در این مرحله تاثیر عوامل مختلفی از قبیل نوع دندانه (سولفات آلومینیم و کلرید قلع)، غلظت دندانه، درصد گلبرگ استفاده در حمام رنگرزی، pH حمام رنگرزی بر میزان رمق‌کشی و کسب شید آبی مورد بررسی قرار گرفت و نمونه‌های رنگرزی شده به صورت چشمی مقایسه شدند.



الف ب

شکل ۱: الف) اجزای مختلف گل زعفران و ب) ساختار آنتوسیانین ترکیب ماده شیمیایی موجود در گلبرگ زعفران.

در مرحله طراحی آزمایش با توجه به نتایج کسب شده در آزمایش‌های اولیه، از چهار متغییر مستقل استفاده شد و با در نظر گرفتن عوامل و محدوده موثر در جذب ماده رنگزا در کسب شید آبی، نسخه‌های رنگرزی پیشنهاد شد. محدوده عوامل موثر در رنگرزی نخ پشمی با گلبرگ زعفران در جدول ۱ ارائه شده‌است. از نسخه آزمایشی نرم‌افزار طراحی آزمایش (Design Expert 8.0.1.0 from Stat-Ease Inc) و همچنین روش رویه‌پاسخ در مرحله طراحی آزمایش و بهینه سازی جهت کسب شید آبی استفاده شد.

۲ـ۳ـ فرآیند دندانه‌دادن

کلاف‌های نخ پشمی در سه غلظت مختلف با دندانه کلریدقلع (۰، ۱،۵ و ۳٪) عمل شدند. حمام‌های آماده شده را روی گرم‌کن قرار داده و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نمونه کلاف نخ پشمی وارد حمام دندانه شد و سپس طی مدت زمان ۲۰ دقیقه، دمای حمام را به جوش رسانده و در این دما به مدت ۴۵ دقیقه عمل شد.

جدول ۱: محدوده متغییرهای رنگرزی با گلبرگ زعفران.

متغییر	محدوده تغییرات		
غلظت کلرید قلع	٪۰	٪۱،۵	٪۳
غلظت گلبرگ در حمام رنگرزی	٪۵۰	٪۱۲۵	٪۲۰۰
مدت زمان رنگرزی (دقیقه)	۳۰	۵۵	۸۰
دمای رنگرزی (سانتی‌گراد)	۵۰	۷۲	۹۵

۲ـ۴ـ فرآیند رنگرزی

در مرحله رنگرزی، کلاف پشمی عمل شده با کلریدقلع در حضور درصدهای مختلف از ماده رنگزا و شرایط زمانی و دمایی مختلف رنگرزی شدند. نسخه‌های پیشنهادی نرم‌افزار طراحی آزمایش در جدول ۲ ارائه شده‌اند. ابتدا حمام‌های رنگرزی آماده و روی گرم‌کن قرار داده شد و سپس کلاف نخ پشمی دندانه‌دار شده در دمای پیشنهادی وارد حمام شده و طی مدت زمان پیشنهادی (جدول ۲) فرآیند رنگرزی ادامه پیدا کرد.

۲ـ۵ـ بررسی ویژگی‌های رنگی نمونه‌ها

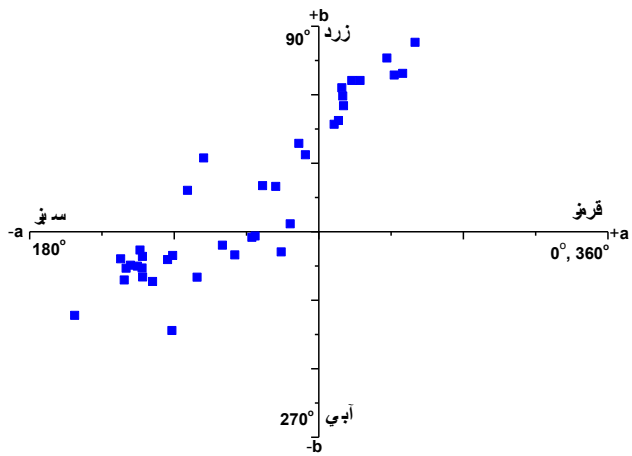
مولفه‌های رنگی و منحنی انعکاسی نمونه‌ها در بازه ۷۰۰-۳۵۰ نانومتر با فواصل ۱۰ نانومتری اندازه‌گیری شده‌است. ثبات نوری نمونه‌های رنگرزی شده با توجه با استاندارد ISO 105-B01:1994 انجام و با نمونه‌های استاندارد مقیاس آبی مقایسه شد. ثبات شستشویی نمونه‌ها بر اساس استاندارد ISO 105C01:1989 تعیین شد و تغییرات رنگی و میزان لکه‌گذاری نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری شد.

۳ـ نتایج و بحث

بررسی دقت مدل ارائه شده یکی از مهم‌ترین قسمت‌های تحلیل داده‌های یک فرآیند می‌باشد. در صورتیکه یک مدل منجر به نتایج ضعیف شود در این صورت دارای دقت کافی نمی‌باشد و مدل ارائه شده قابل اعتماد نمی‌باشد. بنابراین ابتدا مقدار زاویه ته‌رنگ براساس روابط زیر و نتایج داده‌های تجربی بدست آمده از مشخصه‌های رنگی (Lab) ۳۸ نمونه رنگرزی شده محاسبه شد.

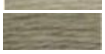
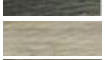
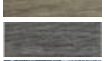
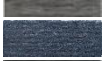
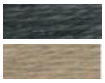
$$\text{Hue}=\begin{cases} \text{ArcTan}\left(\frac{b}{a}\right) \text{ for} & a \text{ and } b>0 \\ 180+\text{ArcTan}\left(\frac{b}{a}\right) \text{ for} & a<0 \text{ and } b>0 \\ 180+\text{ArcTan}\left(\frac{b}{a}\right) \text{ for} & a<0 \text{ and } b<0 \\ 360+\text{ArcTan}\left(\frac{b}{a}\right) & a>0 \text{ and } b<0 \end{cases}$$

شکل ۲ نشان‌دهنده موقعیت ۳۸ نمونه‌رنگرزی شده با گلرنگ زعفران در فضای رنگی Lab می‌باشد محدوده زاویه رنگ نمونه‌های رنگرزی شده بین ۷۵ درجه تا ۲۳۵ درجه می‌باشد که نشان‌دهنده کسب شیدهای زرد تا آبی می‌باشد و زاویه رنگ برابر با ۲۷۰ درجه نشان‌دهنده شید آبی می‌باشد بنابراین با توجه به نتایج کسب شده باید شرایط پیشنهادی نسخه‌های رنگرزی جهت کسب شید آبی به نحوی تعیین شود که بتوان بیشترین مقدار زاویه رنگ را کسب نمود.



شکل ۲: موقعیت فضای رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با گلبرگ زعفران.

جدول ۲: نسخه‌های رنگرزی پیشنهادی نرم‌افزار طراحی آزمایش با توجه به بازه‌های انتخاب شده.

شماره آزمایش	دمای رنگرزی (سانتی‌گراد)	غلظت ماده رنگزا (درصد وزنی)	غلظت دندانه (درصد وزنی)	مدت زمان رنگرزی (دقیقه)	نمونه رنگرزی شده
۱	۹۵	۵۰	۳	۳۰	
۲	۹۵	۲۰۰	۰	۸۰	
۳	۷۲	۲۰۰	۱/۵	۵۵	
۴	۵۰	۵۰	۳	۸۰	
۵	۹۵	۲۰۰	۰	۳۰	
۶	۷۲	۱۲۵	۳	۵۵	
۷	۷۲	۱۲۵	۳	۵۵	
۸	۹۵	۲۰۰	۳	۳۰	
۹	۹۵	۵۰	۳	۸۰	
۱۰	۷۲	۲۰۰	۱،۵	۵۵	
۱۱	۷۲	۱۲۵	۱،۵	۵۵	
۱۲	۷۲	۱۲۵	۱،۵	۳۰	
۱۳	۷۲	۵۰	۱،۵	۵۵	
۱۴	۷۲	۱۲۵	۱،۵	۸۰	
۱۵	۵۰	۲۰۰	۳	۸۰	
۱۶	۷۲	۱۲۵	۰	۵۵	
۱۷	۵۰	۵۰	۰	۳۰	
۱۸	۷۲	۱۲۵	۰	۵۵	
۱۹	۷۲	۵۰	۱،۵	۵۵	
۲۰	۷۲	۱۲۵	۱،۵	۸۰	
۲۱	۷۲	۱۲۵	۱،۵	۵۵	
۲۲	۵۰	۵۰	۳	۳۰	
۲۳	۵۰	۲۰۰	۰	۳۰	
۲۴	۹۵	۱۲۵	۱،۵	۵۵	
۲۵	۵۰	۱۲۵	۱،۵	۵۵	
۲۶	۹۵	۱۲۵	۱،۵	۵۵	
۲۷	۵۰	۵۰	۰	۸۰	
۲۸	۵۰	۲۰۰	۰	۸۰	
۲۹	۵۰	۲۰۰	۳	۳۰	
۳۰	۵۰	۱۲۵	۱،۵	۵۵	
۳۱	۷۲	۱۲۵	۱،۵	۵۵	
۳۲	۷۲	۱۲۵	۱،۵	۵۵	
۳۳	۹۵	۵۰	۰	۳۰	
۳۴	۷۲	۱۲۵	۱،۵	۵۵	
۳۵	۷۲	۱۲۵	۱،۵	۵۵	
۳۶	۹۵	۵۰	۰	۸۰	
۳۷	۹۵	۲۰۰	۳	۸۰	
۳۸	۷۲	۱۲۵	۱،۵	۳۰	

مدل‌های مختلف بر نتایج به دست آمده از زاویه رنگ نمونه‌های رنگرزی شده توسط گلبرگ زعفران برازش شد و نتایج ANOVA حاصله نیز در جدول ۳ نشان داده شده‌است. با توجه به داده‌های جدول ANOVA مشاهده می‌شود که داده‌های حاصل از رنگرزی الیاف پشمی با گلبرگ زعفران جهت کسب شید آبی با مدل درجه دوم چند جمله‌ای[1] بطور مناسب توصیف می‌شوند و فاکتور احتمال(P) کمتر از ۰,۰۰۰۱ و از طرفی مقدار بالای F (۱۵۸) نشان‌دهنده این است که این مدل معنادار می‌باشد و از طرفی مقدار R_{adj} به سمت یک میل می‌کند (۰,۹۶۳۸) پس بنابراین مدل ریاضی انتخاب شده یک مدل معنادار می‌باشد. نتایج جدول ANOVA مدل درجه دوم به منظور کسب شید آبی روی کالای پشمی توسط گلبرگ زعفران در جدول ۴ ارائه شده‌است.

جدول ۳: نتایج آماری حاصل از مدل‌های مختلف برای داده‌های تجربی.

مدل	R^2_{adj}	احتمال (P)	احتمال (F)
خطی	۰,۲۵	۰,۰۰۶۴	۴,۳۲
2FI	۰,۱۹	۰,۷۶۰۱	۰,۵۶
درجه دوم چندجمله‌ای	۰,۹۵	<۰,۰۰۰۱	۱۵۸,۰۹
مکعبی	۰,۹۶	۰,۳۸۸۵	۱,۱۵

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که این مدل درجه دوم چند جمله‌ای می‌تواند جهت ردیابی فضای طراحی فرآیند رنگرزی پیشنهادی استفاده شود. اگر احتمال متغیر مستقل کمتر از ۰,۰۵ باشد، تأثیر آن بر متغیر وابسته معنادار می‌باشد. بر اساس نتایج ANOVA مربوط به مدل درجه دوم چندجمله‌ای می‌توان نتیجه گرفت که متغییرهای غلظت دندانه کلرید قلع و دمای رنگرزی تأثیر معناداری در کسب شید آبی روی کالای پشمی رنگرزی شده با گلبرگ زعفران دارند. چون احتمال این عوامل کمتر از ۰,۰۵ است و علاوه بر این مقادیر احتمال (F) آنها زیاد است. متغیرهای مستقل مدت زمان رنگرزی و غلظت ماده رنگزا به دلیل مقدار احتمال (P) زیاد و مقدار احتمال (F) کم معنی‌دار نیستند. بنابراین این متغیرها در رنگرزی الیاف پشم با گلبرگ زعفران در محدوده پیشنهاد شده نمی‌تواند در کسب شید آبی تاثیر معناداری داشته باشند.

شکل ۳ منحنی رویه پاسخ به دست‌آمده از مدل ریاضی درجه دوم چندجمله‌ای تاثیر غلظت دندانه بر زاویه فام (Hue) جهت کسب شید آبی را نشان می‌دهد. معمولا از فلزات به منظور افزایش پایداری ترکیبات رنگی سیانیدین استفاده می‌شود و این ترکیبات به دلیل اینکه دارای بیش از یک گروه هیدروکسیل در حلقه کرومان می‌باشند توانایی پیوند با یون‌های فلزی را دارا می‌باشند و نوع یون فلزی و pH محیط روی شید رنگی تاثیرگذار می‌باشد و شیدهای مختلفی از قبیل زرد، قرمز، بنفش و آبی قابل دستیابی می‌باشد [۱۳]. کمپلکس دندانه فلزی و ترکیبات آنتوسیانیدین در فرآیند رنگرزی منسوجات نقش مهمی دارند. تشکیل این کمپلکس سبب ایجاد تنوع شیدی و پایداری رنگی آن از زمان‌های قدیم مورد توجه قرار گرفته است و گزارش شده است که کاربرد دندانه کلرید قلع سبب افزایش پایداری رنگی ترکیب آنتوسیانیدین می‌شود [۱۴]. همچنین پیشنهاد شده است که ایجاد شید آبی به دلیل ایجاد کمپلکس بین مولکول ماده رنگزا و یون‌های فلزی و بویژه یون قلع می‌باشد [۱۵].

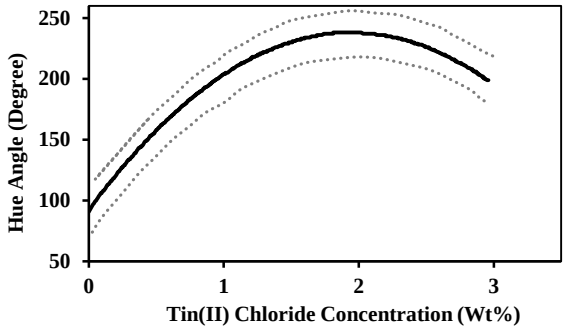
جدول ۴: نتایج آماری حاصل از برازش مدل درجه دوم چند جمله‌ای برای رنگرزی الیاف پشم با گلبرگ زعفران.

منبع	جمع مربعات (S)	احتمال (F)	احتمال (P)
مدل	۱۱۹۲۷۰	۵۶	<۰,۰۰۰۱
A - مدت زمان رنگرزی	۲۸۹	۱,۹	۰,۱۸۲
B- غلظت دندانه	۲۰۷۵۸	۱۳۷	<۰,۰۰۰۱
C- غلظت ماده رنگزا	۲,۴	۰,۰۲	۰,۹۱
D- دمای رنگرزی	۱۹۵۳۱	۱۲۸	<۰,۰۰۰۱
AB	۳۴۲	۲,۲۵	۰,۱۴۸
AC	۲۲,۲۵	۰,۱۵	۰,۷۰۶
AD	۷,۷	۰,۱	۰,۸۲۵
BC	۴,۱	۰,۰۳	۰,۸۷۲
BD	۹۰۵۴	۶۰	<۰,۰۰۰۱
CD	۲۶۶	۱,۷۵	۰,۲
A^2	۶۴۹	۴,۲۷	۰,۰۵
B^2	۳۷۲۰۱	۲۴۵	<۰,۰۰۰۱
C^2	۱۰۴	۰,۶۹	۰,۴۲
D^2	۹۷۳	۶,۴	۰,۰۱۹

1- Quadratic

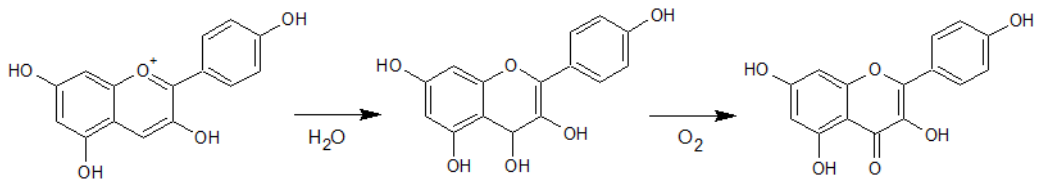
همان‌طور که مشاهده می‌شود کاربرد دندانه قلع به روش پیش‌دندانه روی الیاف پشم سبب شده که در حضور ترکیبات آنتوسیانیدین موجود در گلبرگ زعفران شید آبی را ایجاد نماید و در نتیجه زاویه رنگ شید به دست آمده افزایش یافته‌است. زاویه رنگ در محدوده ۱۸۰ تا ۲۷۰ درجه دارای شید سبز تا آبی می‌باشند و نمونه‌هایی که با کلرید قلع رنگرزی شده‌اند در این محدوده زاویه رنگی قرار گرفته‌اند و نمونه‌هایی که با ۱,۵ تا ۲ درصد وزنی کلرید نسبت به وزن کالا پیش‌دندانه شده‌اند دارای بیشترین زاویه رنگ می‌باشند.

آنتوسیانین‌ها از نظر ساختمان مشتق کاتیون فلاویلیم[1] هستند و از نظر ساختمانی وابسته به فلاوونوئیدها و از ترکیبات فنلی گیاهان می‌باشند [۱۶]. ترکیبات آنتوسیانیدن با توجه به شرایط pH محیط دارای تنوع شیدی قرمز، آبی و بنفش می‌باشند که این ترکیبات در محیط آبی به راحتی اکسید شده و به ترکیبات فلاونوئیدی تبدیل می‌شوند که دارای رنگ زرد می‌باشند (شکل ۴). بعضی از آنتوسیانین‌ها به کمک گروه‌های هیدورکسیل خود می‌توانند با فلزات تشکیل کمپکس دهند و به رنگ ارغوانی و آبی تبدیل شوند که ناشی از تشکیل کمپکس آنتوسیانین با قلع است. ترکیب شدن این ترکیبات با دندانه فلزی قلع سبب ایجاد شید آبی خواهد شد که سازوکار کمپلکس ایجاد شده با یون کلرید قلع در شکل ۵ نشان داده شده است [۱۵]. ترکیب فلاونول یک کمپلکس پایدار با یون فلزی قلع ایجاد می‌کند و همچنین از طریق گروه‌های هیدروکسیل باقی‌مانده در ساختار کمپلکس توانایی برقراری پیوند با گروه‌های آمینه الیاف پشم را دارد.

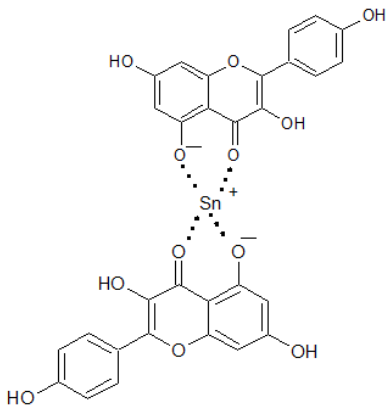


شکل ۳: منحنی رویه پاسخ تاثیر غلظت دندانه روی زاویه رنگ جهت کسب شید آبی روی الیاف پشم با گلبرگ زعفران.

1- Flavylium



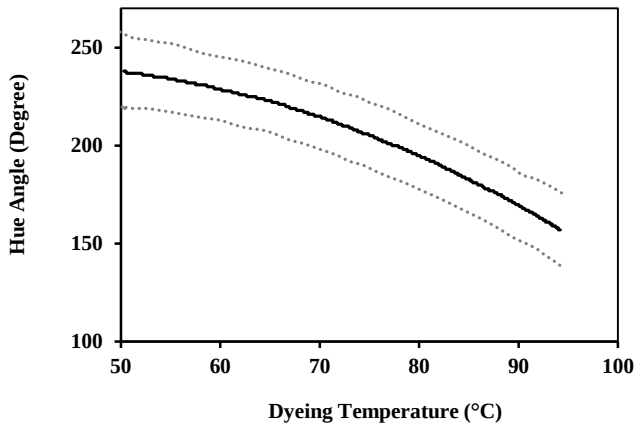
شکل ۴: اکسایش ترکیب آنتوسیانیدین بنفش رنگ به فلاونول زرد رنگ در محیط آبی.



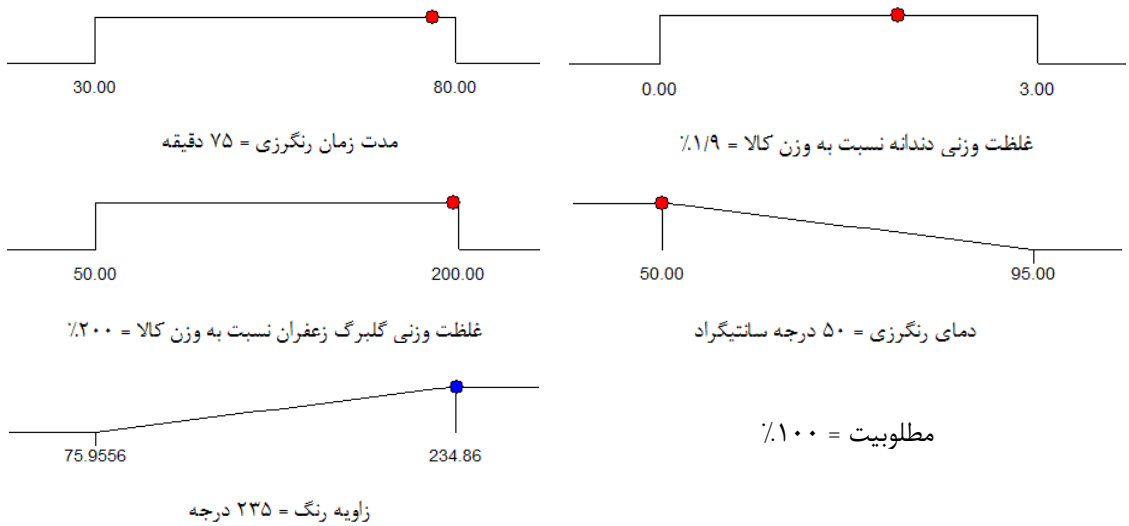
شکل ۵: ترکیب شدن یون فلزی قلع با ترکیب فلاونول زرد رنگ و ایجاد شید آبی.

شکل ۶ منحنی رویه پاسخ به دست‌آمده از مدل ریاضی درجه دوم چندجمله‌ای تاثیر دمای رنگرزی با گلبرگ زعفران روی کلاف نخ پشمی بر زاویه رنگ جهت کسب شید آبی را نشان می‌دهد. گزارش شده است دما و زمان حرارت‌دهی تاثیر بسزایی بر پایداری آنتوسیانین‌ها دارد و ساختمان آنتوسیانین‌ها تحت تاثیر دما تخریب می‌شود و شدت تخریب به حضور اکسیژن، pH و ساختار شیمیایی آنها وابسته است. افزایش دما به‌طور خطی موجب کاهش آنتوسیانین کل منومری شده و افزایش دما می‌تواند موجب پلیمری‌شدن و تبدیل آنتوسیانین‌های منومری به رنگدانه‌های قهوه‌ای یا بی‌رنگ شود [۱۷]. قسمت فلاویلیم در آنتوسیانین‌ها چون دارای کمبود الکترون است بسیار آماده برای شرکت در واکنش‌هایی است که معمولاً با نابودی آنتوسیانین‌ها یا تغییر رنگ همراه است. بنابراین افزایش دمای رنگرزی از ۵۰ به ۹۵ درجه سانتی‌گراد سبب کاهش زاویه رنگ شده و در نتیجه سبب از بین رفتن کمپلکس ایجاد شده شید آبی می‌شود.

شرایط رنگرزی الیاف پشمی با گلبرگ زعفران به منظور کسب شید آبی با توجه به نتایج به دست آمده توسط نرم‌افزار طراحی آزمایش بهینه‌سازی شد. محدوده متغیرهای مستقل به نحوی انتخاب گردید که مقدار متغییر وابسته (زاویه رنگ) بیشترین مقدار را ایجاد نماید با توجه به نتایج حاصل شده مبنی بر اینکه افزایش دمای رنگرزی، سبب کاهش زاویه رنگ و در نتیجه از بین رفتن شید آبی خواهدشد بنابراین دمای رنگرزی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب شد. شکل ۷ نشان‌دهنده شرایط بهینه برای رنگرزی الیاف پشمی با گلبرگ زعفران می‌باشد و بنابراین نسخه بهینه پیشنهادی شامل گلبرگ زعفران ۲۰۰٪ نسبت به وزن کالا، دندانه کلرید قلع ۱,۹٪، دمای رنگرزی ۵۰ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان ۷۵ دقیقه می‌باشد.



شکل ۶: منحنی رویه پاسخ تاثیر دمای رنگرزی روی زاویه رنگ جهت کسب شید آبی روی الیاف پشم با گلبرگ زعفران.



شکل ۷: نمونه، محدوده و مقادیر بهینه متغییرهای مستقل برای رنگرزی الیاف پشمی با گلبرگ زعفران.

اغلب مواد رنگزای طبیعی دندانه‌ای، ثبات نوری ضعیفی دارند و

این به دلیل اکسایش کرموفور رنگی آنها در معرض نور می‌باشد. از آنجائیکه که یون فلزی به الیاف و ماده رنگزا تمایل ذاتی دارند و بنابراین اتصال آنها به الیاف و مولکول ماده رنگزا سبب بهبود ثبات شستشویی و نوری کالای رنگرزی شده می‌شوند. نتایج حاصل از تست ثبات شستشویی و نوری نمونه رنگرزی شده با نسخه بهینه در جدول شماره ۵ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های رنگرزی شده نسبتا متوسط تا خوب می‌باشد و همچنین کمترین لکه‌گذاری را نمونه کالای پشمی و پنبه‌ای داشته است.

جدول ۵: نتایج ثبات‌های رنگرزی الیاف پشم رنگرزی شده با گلبرگ زعفران با نسخه بهینه پیشنهادی.

ثبات شستشویی	لکه‌گذاری روی کالای پشمی	لکه‌گذاری روی کالای پنبه‌ای	ثبات نوری
۳-۴	۴-۵	۴-۵	۶-۷

۴ـ نتیجه‌گیری

دراین پژوهش از گلبرگ زعفران به عنوان یک دور ریز گیاهی برای رنگرزی الیاف پشم جهت ایجاد شید آبی مورد استفاده قرار گرفت و شرایط رنگرزی با این دورریز گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. از نرم افزار طراحی آزمایش به منظور بهینه‌سازی عوامل موثر در رنگرزی نخ پشمی جهت کسب شید آبی استفاده شد و زاویه رنگ نمونه‌های رنگرزی شده به عنوان متغییر وابسته در نظر گرفته شد. محدوده زاویه رنگ نمونه‌های رنگرزی شده بین ۷۵ تا ۲۳۵ درجه می‌باشد که نشان دهنده کسب شیدهای زرد تا آبی می‌باشد و زاویه رنگ برابر با ۲۷۰ درجه نشان‌دهنده شیدهای آبی می‌باشد بنابراین شرایط پیشنهاد نسخه‌های رنگرزی جهت کسب شید آبی باید به تعیین شود که بتوان نزدیک‌ترین مقدار زاویه رنگ به ۲۷۰ درجه را کسب نمود. با توجه به داده‌های جدول ANOVA مشاهده شد که داده‌های حاصل از رنگرزی الیاف پشمی با گلبرگ زعفران جهت کسب شید آبی با مدل درجه دوم چندجمله‌ای به طور مناسب توصیف می‌شوند و متغییرهای غلظت دندانه کلرید قلع و دمای رنگرزی تأثیر معناداری در کسب شید آبی روی کالای پشمی رنگرزی شده با گلبرگ زعفران دارند. بنابراین نسخه بهینه پیشنهادی شامل گلبرگ زعفران ۲۰۰٪ نسبت به وزن کالا، دندانه کلرید قلع ۱٫۹٪، دمای رنگرزی ۵۰ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان ۷۵ دقیقه می‌باشد. ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های رنگرزی شده نسبتا متوسط تا خوب می‌باشد و همچنین کمترین لکه‌گذاری را نمونه کالای پشمی و پنبه‌ای داشته است.

۵ـ مراجع

1. M. Shahid, I. Shahid ul, F. Mohammad, Recent advancements in natural dye applications: A review. *J. Cleaner Prod.* 53(2013), 310-331.
2. T. Bechtold, A. Turcanu, E. Ganglberger, S. Geissler, Natural dyes in modern textile dyehouses- how to combine experiences of two centuries to meet the demands of the future*? J. Cleaner Prod.* 11(2003), 499-509.
3. R. Siva, Status of natural dyes and dye-yielding plants in *India*. *Cur. Sci.-Bangalore*, 92(2007), 916-925.
4. Kasiri M. B. and S. Safapour, Exploring and Exploiting Plants Extracts as the Natural Dyes/Antimicrobials in Textiles Processing. *Prog. Color Colorants Coat*. 8 (2015), 87-114.

۵. ل. مهرپرور، س. صفاپور، م. صادقی کیاخانی، ک. قرنجیک، بهبود رنگ‌پذیری خامه پشمی مصرفی در فرش دستباف با مشتق زیست‌سازگار کیتوسان: مطالعه خواص رنگرزی و ثبات رنگی با ماده رنگزای طبیعی اسپرک، *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ*، ۱۰(۱۳۹۵)، ۹۶-۸۹.

۶. س. میرنژاد، س. صفاپور، م. صادقی کیاخانی، مروری بر خواص و کاربردهای رنگ طبیعی قرمزدانه در صنایع مختلف، *نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ*، ۵(۱۳۹۴)، ۴۶-۳۳.

7. P. A. Tarantilis, M.G. Polissiou, Isolation and identification of the aroma components from saffron (Crocus sativus). *J. Agric. Food Chem.* 45(1997), 459-462.
8. M. H. Abrishami, Recognition of Iranian saffron. 1987, Tehran: Toos.
9. M. Müller, W. Simon, The identification of anthocyanins by pyrolysis mass spectrometry and pyrolysis-GC/MS. *Microchim. Acta.* 72(1979), 389-396.
10. F. Talebpour, M. Veysian, Dyeing Woolen Pile Yarn Using Saffron Petals: Impact of Different Mordents and Acids. *Goljaam.* 25(2014), 16-25.
11. S. Mortazavi, M. Kamali Moghaddam, S. Safi, R. Salehi, Saffron petals, a by-product for dyeing of wool fibers. *Prog Color Colorants Coat*, 5(2012), 75-84.
12. Bagherzade, G., R. Hosseinabadi, Z. Arabpoor, Applying saffron petal and oriflamme as wastage for wool yarn dying and color fastness. *J. Saffron Res.* 1(2013), 136-143.
13. H. P. Wang, W. Li, Zhou, Dyeing of Silk with Anthocyanins Dyes Extract from Liriope platyphylla Fruits. *J. Text.* 2014, 1-9.
14. T. Ngo, Y. Zhao, Stabilization of anthocyanins on thermally processed red D'Anjou pears through complexation and polymerization. *LWT-Food Sci. Technol.* 42(2009), 1144-1152.
15. M. C. Moncada, S. Moura, M. Melo, A. Roque, C. Lodeiro, F. Pina, Complexation of aluminum (III) by anthocyanins and synthetic flavylium salts. A source for blue and purple color. *Inorganica Chim. Acta*. 356(2003), 51-61.
16. G. Woodall, G. Stewart, Do anthocyanins play a role in UV protection of the red juvenile leaves of Syzygium? *J. Experimental Botany*. 49(1998), 1447-1450.
17. K. Mahdavee Khazaei, S. M. Jafari, M. Ghorbani, A. Hemati Kakhki, Optimization of anthocyanin extraction in Saffron's petal with response surface methodology. *J. Res. Innovation Food Sci. Technol.* 3(2014), 37-50.